

Mechanikversuche mit der PC-Maus als präziser Low-Cost-Bewegungssensor unter WINDOWS

W. Reusch, O. Gößwein, Ch. Kahmann, D. Heuer

Kurzfassung:

Ohne weiteren Hardwareaufwand macht das Programmpaket PAKMA aus einem Windows-PC einen Messcomputer für Mechanikversuche. Als Messumformer dient eine leicht veränderte Maus. Damit können vielfältige Experimente zur 1- und 2-dimensionalen Kinematik bei zeitlicher Auflösung bis zu 25 ms und örtlicher Auflösung im Bereich von 0,1 mm durchgeführt werden. Einschränkungen sind lediglich durch die Reibung im Sensor und die maximal zu detektierende Geschwindigkeit gegeben.

1. Die PC-Maus als fast idealer Bewegungssensor

Jeder PC besitzt heute mit der Maus standardmäßig einen preisgünstigen mechanischen Messwertaufnehmer. Einfache Anwendungen der Maus als Sensor sind bei [1], [2] und [3] beschrieben. Im Gegensatz dazu sind in das Softwarepaket PAKMA¹ für WINDOWS ab Vers. 2.5 jetzt Funktionen integriert, die "Maus"messungen unter WINDOWS 95/98 mit einer zeitlichen Auflösung von 25ms und einer Ortsauflösung von etwa 0,1mm ermöglichen, so dass auch Geschwindigkeiten und Beschleunigungen exakt aufgenommen werden. Zusätzlich können die dynamisch ikonischen Repräsentationen, die PAKMA zur Verfügung stellt [4], genutzt werden. Einschränkungen der Messmöglichkeiten sind lediglich durch die Reibung im Sensor und die maximal zu detektierende Geschwindigkeit gegeben².

2. Vorbereitung zum Messen mit der Maus

Zur Analyse 1-dimensionaler Bewegungen wird die Bewegung über einen Faden mit einer Sensorachse in der Maus gekoppelt. Dazu wird die Maus geöffnet, die Kugel entfernt und der Faden über die Achse geführt. Zur Vermeidung von Schlupf, empfiehlt es sich, eine passende Kabeltülle oder einen Gummischlauch auf die verwendete Achse zu schieben und den Faden in der Tülle bzw. auf dem Schlauch laufen zu lassen (Abb.1)³. Außerdem muss der je nach Maus-Typ mehr oder weniger störende Einfluss von Umgebungslicht auf die Lichtschranken durch eine Abdeckung verhindert werden.

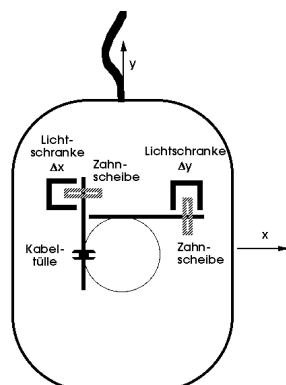


Abb.1: Schematische Darstellung des inneren Aufbau der PC-Maus.

¹ Information und Download: <http://www.pakma.de>

² Bauartbedingt liegt die detektierte Höchstgeschwindigkeit einer nicht modifizierten 400 dpi-Maus bei ca. 0,3 m/s

³ Durch die Vergrößerung des wirksamen Achsenradius wird die "Höchstgeschwindigkeit" bei gleichzeitiger Verringerung der Ortsauflösung erhöht.

Neben dieser Vorbereitung der "Hardware" sind noch zwei wichtige Einstellungen im Betriebssystem und im Messprogramm vorzunehmen. Damit die Ortsverschiebungen der Maus proportional übertragen und nicht von WINDOWS dynamisch in Abhängigkeit von der "Fahrweise" verändert werden, muss in der Systemsteuerung die Mausgeschwindigkeit auf den kleinsten Wert eingestellt werden. Falls der Maustreiber die Option "Mausbeschleunigung" anbietet, ist für diese "Aus" zu wählen.

Damit die tatsächlich zurückgelegte Strecke mit der Anzeige übereinstimmt, ist in Abhängigkeit vom Maus-Typ, dem Treiber und der aufgezogenen Kabeltülle (bzw. Gummischlauch) zusätzlich eine Kalibrierung durch Anpassung eines Skalierungsfaktors nötig: Die Skalierung der jeweiligen Maus erfolgt im zugehörigen PAKMA-Kernprogramm⁴ bzw. als Vorgabe im Menü "Startwerte".

Grundsätzlich eignen sich sowohl PS/2- als auch serielle Mäuse zum Messen. Da die ins Experiment eingebaute Maus nicht mehr zum Bedienen des Computers zur Verfügung steht, haben wir nach Alternativen gesucht, da man zur Steuerung des Programmablaufs sicher nicht auf die Tastaturbedienung zurückgreifen will. Eine Variante besteht in einer Computerkonfiguration mit einer PS/2-Maus zum Bedienen und einer zusätzlichen seriellen Maus zum Messen. Dann darf die Bedienmaus während der Messung nicht bewegt werden.

Steht keine PS/2-Maus zur Verfügung, so ermöglicht ein Umschalter (Abb.2) die wechselweise Aktivierung zweier serieller Mäuse zum Bedienen bzw. Messen. In diesem Fall muss die Umschaltung auf die jeweils "richtige" Maus rechtzeitig von Hand erfolgen.

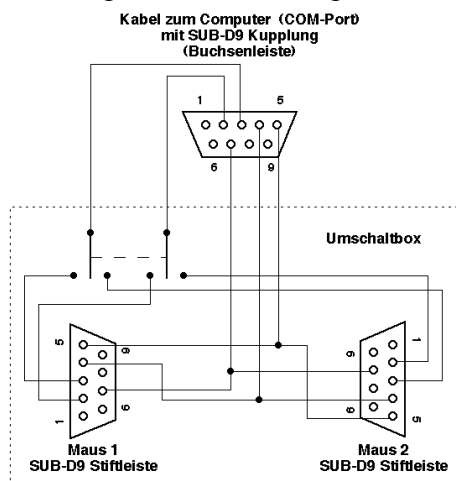


Abb.2: Schaltplan eines Umschalters für zwei serielle Mäuse

3. Versuchsbeispiele zur 1-dimensionalen Bewegung

An vier repräsentativen Versuchssituationen, Lehrerdemonstrations- als auch Schülerversuchen, soll der Einsatz und die Leistungsfähigkeit der Maus als 1-dimensionaler Bewegungssensor aufgezeigt werden. Dabei sollen neben den Möglichkeiten auch Grenzen verdeutlicht werden. Zu den theoretischen Grundlagen der behandelten Phänomene sei der Leser auf gängige Lehrbücher verwiesen, z.B. Tipler [5]. Im Gerthsen [6] und bei Stöcker [7] findet man zusätzliche Informationen bezüglich der auftretenden Reibung.

⁴ Das Kernprogramm kann zeilenorientiert oder mit dem grafischen Editor VisEdit erstellt werden. (vgl. Reusch, Gößwein, Heuer (2000) in diesem Heft)

3.1 Luftkissenfahrbahn

Ein sehr einfacher Aufbau ermöglicht die Realisierung und Registrierung einer konstant beschleunigten Bewegung auf der horizontal ausgerichteten Luftkissenbahn. Dabei wird der Faden, an dem das beschleunigende Gewichtsstück hängt, über die Achse der Maus geführt, die damit gleichzeitig als Umlenkrolle und Wegsensor dient. Den Aufbau (als Animation mit zusätzlich dargestelltem Geschwindigkeitsvektor) und typische Messergebnisse zeigt (Abb.3).

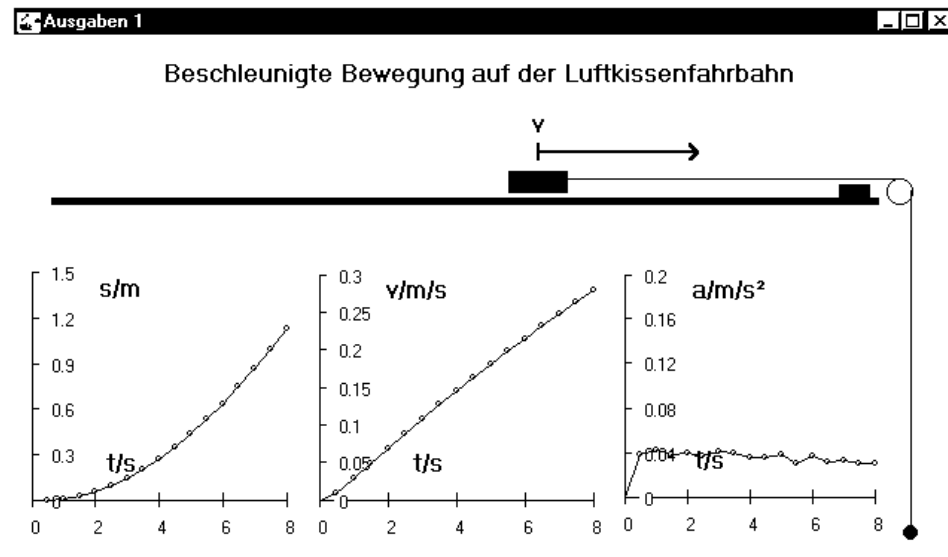


Abb.3: PAKMA-Ausgabefenster mit Animation des Bewegungsablaufs, zusätzlichem Geschwindigkeitsvektor und t - s -, t - v - und t - a -Diagrammen einer "konstant" beschleunigten Bewegung auf der Luftkissenbahn.

Der Einfachheit der Anordnung steht als Nachteil die Reibung durch den Sensor gegenüber, was sich durch den Vergleich zwischen theoretisch zu erwartender Beschleunigung und dem tatsächlich gemessenen Wert zeigt. Die Daten wurden mit einer Gesamtmasse (Fahrbahngleiter und Gewichtsstück) $m_{ges} = 306g$ aufgenommen. Das zur Beschleunigung dienende Gewichtsstück hat eine Masse $m = 2,0g$. Damit errechnet sich die theoretische Beschleunigung ohne Reibung $a_{theo} = 0,064m/s^2$. Die Messung liefert einen mittleren Wert im Bereich von $a_{exp} = 0,035m/s^2$. Aus dem Vergleich von theoretischer und gemessener Beschleunigung kann die durch den Sensor verursachte Reibungskraft bestimmt werden, sie beträgt ca. 9mN. Außerdem zeigen die Beschleunigungswerte, dass die Reibung nur wenig von der Geschwindigkeit abhängt und es sich somit überwiegend um Festkörperreibung (Coulomb-Reibung) handelt.

Prinzipiell können alle Luftkissenbahnversuche mit der Maus als Sensor durchgeführt werden, wenn man die zusätzliche, annähernd konstante Reibung durch den Sensor in Kauf nimmt, die durch eine leichte Neigung der Fahrbahn von ca. 3mm auf 1m in einer Richtung kompensiert werden könnte.

Bei diesem wie auch bei allen weiteren Versuchen verdeutlichen die Graphen für Ort, Geschwindigkeit und Beschleunigung, die ohne jegliche Mittelung bzw. Anpassung aus den Daten der Mausmessung erstellt wurden, die Präzision der Messung, wie sie mit den oben genannten Lösungen nicht erreicht wird.

3.2 Schülerfahrbahn

Besonders bei Schülerversuchen kommt der Low-Cost-Aspekt des Sensors Maus voll zum Tragen. Da Schülerfahrbahnen nicht so reibungsarm wie Luftkissenbahnen sind, beeinflusst die Reibung des Sensors den Bewegungsablauf nur unwesentlich. Einen möglichen Aufbau⁵ zeigt (Abb.4).

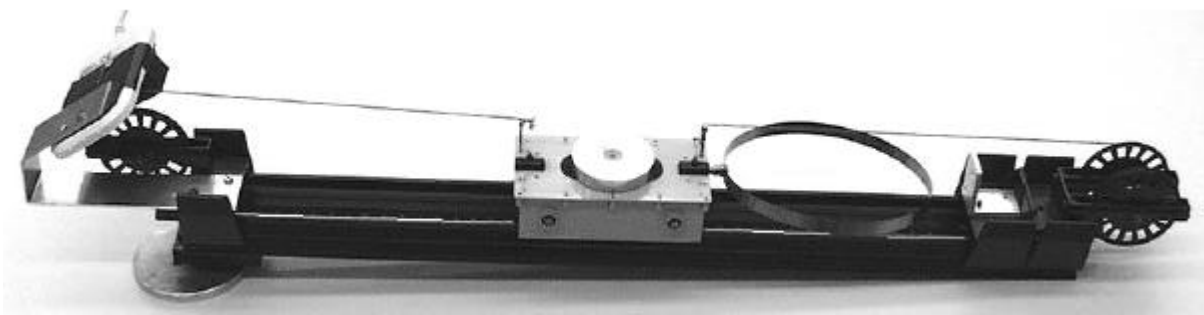


Abb.4: Schülerfahrbahnaufbau mit umlaufendem Faden und der Maus als Sensor.

Dabei wird die Ankopplung der Bewegung an die Maus mit einem umlaufenden Faden realisiert. Die Maus ist mit einem geeignet gebogenen Alublech⁶ auf einem Klemmreiter mit Einzel-Umlenkrolle so montiert, dass der Faden über die Umlenkrolle und die Kabeltülle läuft. Typische Ergebnisse einer Fahrt auf der schiefen Ebene mit Reflexion an einer Feder am Ende der Fahrbahn sind in (Abb.5) in Graphenform dokumentiert.

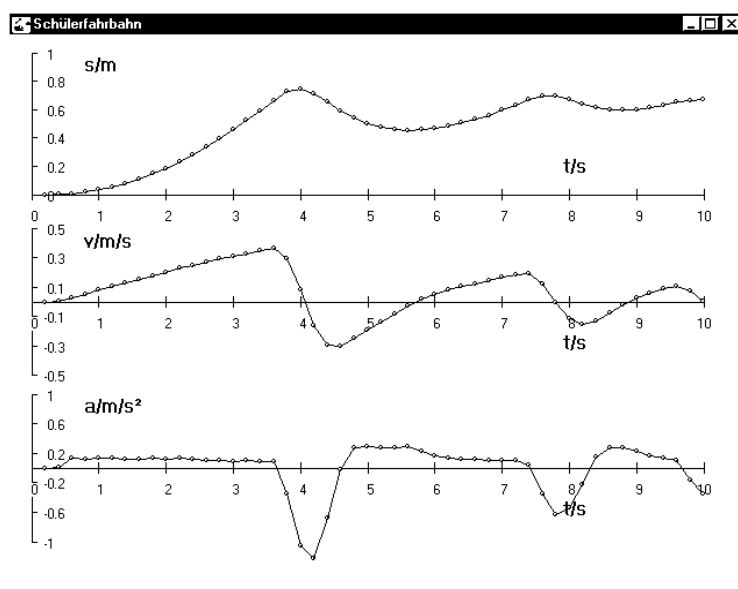


Abb.5: t - s -, t - v - und t - a -Diagramm einer beschleunigten Bewegung auf der geneigten Schülerfahrbahn mit Reflexion an einer Feder am Fahrbahnde. Der Reibungseinfluss zeigt sich deutlich in der Änderung der Beschleunigung beim Wechsel der Bewegungsrichtung.

⁵Leybold Präzisions-Metallschiene 46081 mit Messwagen 33701 und Umlenkrollen mit Klemmreitern 33714 bzw. 33715

⁶Stärke 1,5 mm, Breite ca. 3 cm

3.3 Federpendel

Neben Fahrbahnversuchen kann die PC-Maus auch bei der Untersuchung der Bewegungsabläufe beim Federpendel als Bewegungsmesswandler eingesetzt werden. Der Aufbau kann wie in (Abb.6) erfolgen.

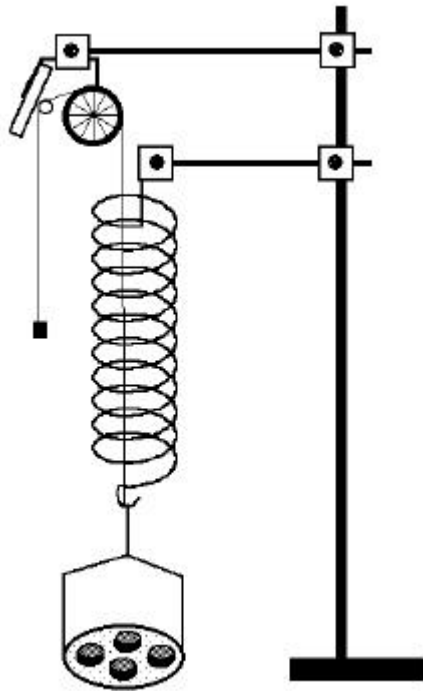


Abb.6: Schematischer Gesamtaufbau zur Untersuchung der Schwingung eines Federpendels.

Die Sensoranordnung wurde von der Schülerfahrbahn übernommen und der Faden durch das Innere der Schraubenfeder über Umlenk- und Mausrolle zu einem kleinen Spanngewicht geführt. Diese Fadenführung ermöglicht im Vergleich zum Aufbau bei [2] eine wesentlich bessere Traktion der Mausrolle bei gleichzeitig geringerer Reibung. Ergebnisse sind in (Abb.7) dargestellt.

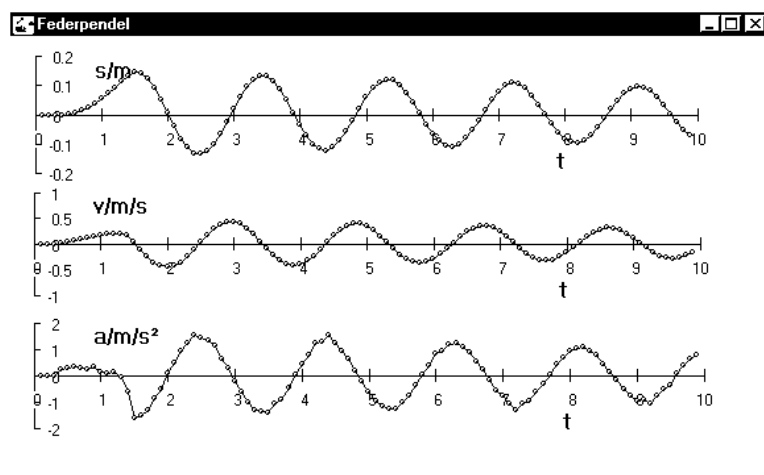


Abb.7: t - s -, t - v - und t - a -Diagramm einer Federschwingung. Das Pendel wurde von Hand ausgelenkt und etwa zum Zeitpunkt $t = 1,5$ s freigegeben.

Bei einer schwingenden Masse (Teller, Gewichtsstücke, Spanngewicht und effektive Federmasse) $m = 348$ g und der Federkonstanten $D = 3,65$ N/m errechnet man für die Schwingungsdauer $T_{theo} = 1,94$ s. Aus der graphischen Darstellung des Schwingungsvorgangs liest man in sehr guter Übereinstimmung $T_{exp} = 1,9$ s ab.

3.4 Physikalisches Pendel

In Erweiterung der Untersuchung harmonischer Schwingungen, wie z.B. beim Federpendel, wurde auch ein Aufbau mit einem physikalischen Pendel realisiert (Abb.8).

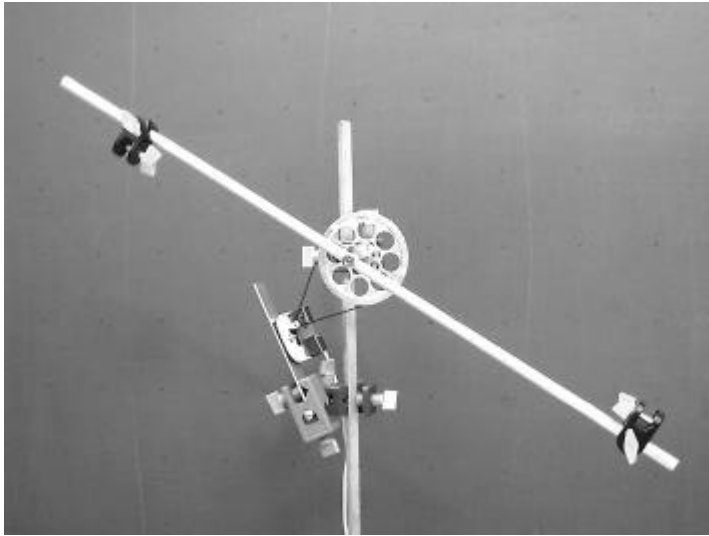


Abb.8: Aufbau eines physikalischen Pendels. Der Drehkörper ist kugelgelagert, auf der Drehachse ist eine Schnurlaufscheibe befestigt, mit deren Hilfe die Bewegung zur Maus übertragen wird.

Das anharmonische Verhalten wird im Zeit-Winkelgeschwindigkeits-Graphen und noch besser im Zeit-Winkelbeschleunigungs-Graphen bei großen Auslenkungen sichtbar (Abb.9) und kann hier zu interessanten Diskussionen Anlass geben, besonders, wenn die Schüler Vorhersagen über die Graphen gemacht haben.

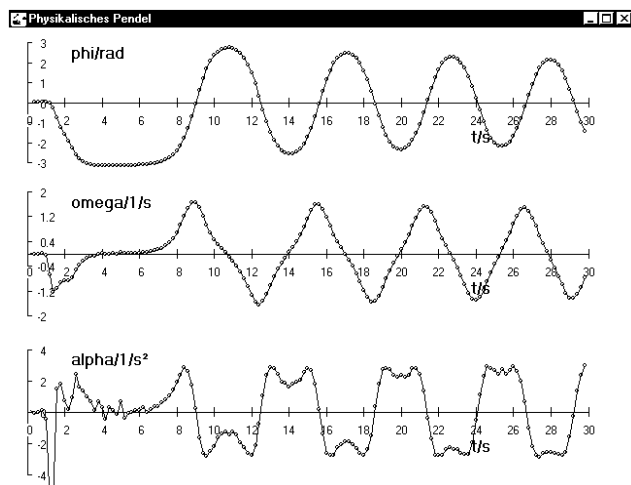


Abb.9: Zeit-Auslenkungs-, Zeit-Winkelgeschwindigkeits- und Zeit-Winkelbeschleunigungs-Diagramm der anharmonischen Schwingung des physikalischen Pendels. Das Pendel wurde von Hand ausgelenkt und etwa zum Zeitpunkt $t = 6\text{ s}$ freigegeben.

4. Erweiterungen und Fazit

Neben dem Einsatz als 1-dimensionaler Bewegungssensor sollen noch kurz die Möglichkeiten zum Einsatz der Maus als 2-dimensionaler Sensor aufgezeigt werden.

Ohne jegliche Umbauten kann die PC-Maus als 2-dimensionaler Bewegungssensor eingesetzt werden [8]. Dazu ist auch keine zweite Maus nötig. Die PC-Maus dient gleichzeitig zur Bedienung und zum Messen. Damit können krummlinige Bewegungen, wie z.B. Kurvenfahrten nachvollzogen und analysiert werden. Eine Einschränkung betrifft die "Fahrweise". Damit die Zuordnung der Koordinaten zu den Sensorachsen der Maus erhalten bleibt, darf die Maus während der "Fahrt" nicht verdreht werden. In der (Abb.10) sind für eine Kurvenfahrt mit der Maus die Bahnkurve mit Zeitmarken, sowie Geschwindigkeits- und Geschwindigkeitsänderungsvektoren dargestellt.

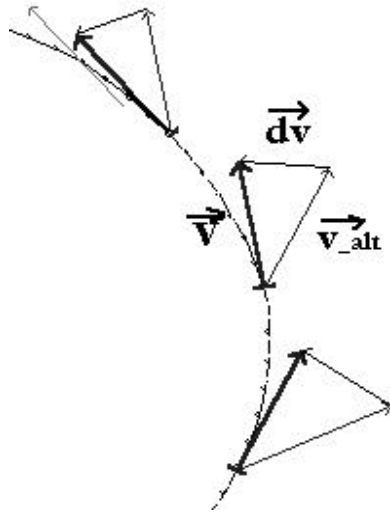


Abb.10: Bestimmung der Geschwindigkeitsänderung bei einer Kurvenfahrt mit der Maus.

Alternativ oder zusätzlich könnten auch Ortsänderungs- oder Beschleunigungsvektoren ausgegeben werden. Damit lässt sich der handlungsorientierte Umgang mit der Beschleunigungsdefinition interaktiv umsetzen [8], um die Verständnisschwierigkeiten im Bereich der 2-dimensionalen Kinematik/Dynamik abzubauen. Unterrichtsmaterialien und eine Zusammenfassung der Erfahrungen findet man im Internet unter <http://didaktik.physik.uni-wuerzburg.de/~wr>.

Abgesehen von einem gewissen Reibungsanteil und Einschränkungen bei der maximal zu detektierenden Geschwindigkeit können mit diesem einfachen und kostengünstigen Bewegungssensor und dem Softwaresystem PAKMA alle wesentlichen Aussagen der entsprechenden physikalischen Phänomene experimentell, computerunterstützt überprüft werden.

Literatur:

- [1] Krahmer, Peter; Heuer, Dieter: Lernchancen durch Parallelität von Bewegungsabläufen und Grafik. In Wiebel, K.H.(Hrsg.), Zur Didaktik der Physik und Chemie, Probleme und Perspektiven, Alsbach/Bergstraße, Leuchtturm, 1992, S.166 - 168
- [2] Ochoa, O. Romulo; Kolp, N. Franklin: The computer mouse as a data acquisition interface: Application to harmonic oscillators, Am.J.Phys. 65 (11), November 1997, S. 1115 - 1118
- [3] Sahm, W.: Kabellose Maus als Wegaufnehmer. PdN-Ph. 1/49. Jg. 2000, S. 46 - 47
- [4] Heuer, Dieter: Dynamische Repräsentationen - Verständnishilfe für Physikalische Experimente. In PdN-Ph. 4/45. Jg. 1996, S.12 - 18
- [5] Tipler, Paul A.: Physik, Spektrum Akademischer Verlag Heidelberg, 1995
- [6] Gerthsen: Physik, 20. aktualisierte Auflage, Springer Verlag, Berlin, 1999
- [7] Stöcker: Taschenbuch der Physik, 3., überarbeitete und erweiterte Auflage, Verlag Harri Deutsch, Thun und Frankfurt am Main, 1999
- [8] Reusch, Wolfgang; Heuer, Dieter: Förderung des Physiklernens durch Visualisierung und Interaktivität im Bereich der 2-dimensionalen Kinematik/Dynamik. In Brechel, R.(Hrsg.), Zur Didaktik der Physik und Chemie, Probleme und Perspektiven, Alsbach/Bergstraße, Leuchtturm, 1999, S.182 - 184

Anschrift der Verfasser:

OStR W. Reusch, O. Gößwein, Ch. Kahmann, Prof. Dr. D. Heuer

Lehrstuhl für Didaktik der Physik, Physikalisches Institut der Universität Würzburg, Am Hubland, 97074 Würzburg

email:reusch@physik.uni-wuerzburg.de

email:heuer@physik.uni-wuerzburg.de